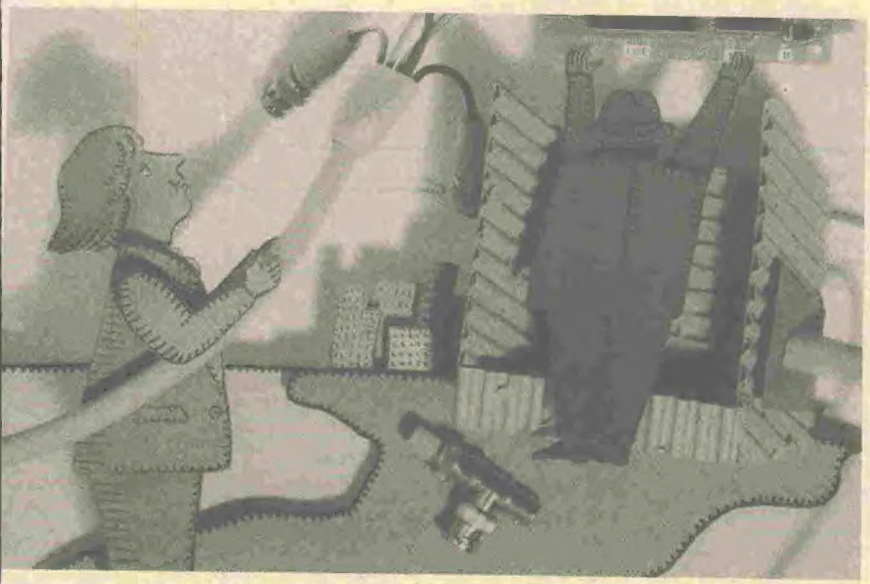
พงษ์ศักดิ์ สุสัมพันธ์ไพบูลย์

เทคโนโลยีเครือข่ายคอมพิวเตอร์ : PDH กับ SDH



เปรียบเทียบข้อแตกต่างระหว่าง PDH และ SDH

ย้อนกลับไปก่อนประมาณปี 1970 การส่งสัญญาณโทรศัพท์จะเป็นการส่งสัญญาณอะนาล็อกที่มัลติเพล็กซ์ช่องสัญญาณแบบ FDM (Frequency Division Multiplexing) ไปตามสายคู่ตีเกลียวทองแดง พอมาในช่วงต้นทศวรรษปี 1970 ระบบการส่งแบบดิจิตอลเริ่มที่จะปรากฏให้เห็น โดยการใช้วิธีการมอดูเลตแบบรหัสพัลส์ (Pulse Code Modulation (PCM)) วิธีการของ PCM นี้จะทำให้รูปคลื่นอะนาล็อก เช่น เสียงพูดของมนุษย์ ถูกแทนด้วยรูปคลื่นที่เป็นไบนารีได้ ดังนั้นสัญญาณโทรศัพท์ที่เป็นอะนาล็อก 4 kHz สามารถถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณดิจิตอล 64 kbps ได้ รูปที่ 1 แสดงหลักการของ PCM และเพื่อให้การส่งนั้นคุ้มค่า จึงได้ทำการรวมช่องสัญญาณ PCM 64 kbps หลาย ๆ ช่อง โดยการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา (Time Division Multiplexing (TDM)) เป็นสัญญาณที่มีอัตราเร็วของบิตสูงขึ้นสำหรับส่งออกไป (รูปที่ 2)

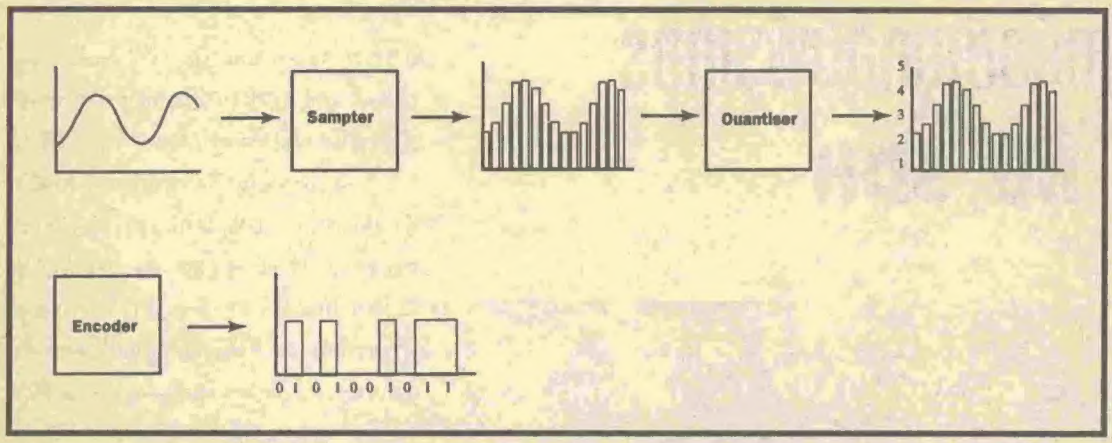
ในยุโรปและอีกหลายประเทศที่ตามมา วิธีการของ TDM ได้ถูกนำมาใช้ โดยการรวมช่องสัญญาณ 64 kbps 30 ช่อง กับช่องสัญญาณเพิ่มเติมอีก 2 ช่อง สำหรับส่งข้อมูลการควบคุม ทำให้ได้รับสัญญาณที่มีอัตราบิต 2.048 kbps เนื่องจากความต้องการใช้โทรศัพท์ได้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ระดับของทราฟฟิคในโครงข่ายได้เพิ่มมากขึ้นจนสัญญาณ 2 Mbps ไม่สามารถรองรับโหลดทราฟฟิคได้เพียงพอ จึงได้มีการเพิ่มระดับของการมัลติเพล็กซ์ขึ้นไปอีก โดยมาตรฐานที่ใช้ในยุโรปจะทำการรวมช่องสัญญาณ 2 Mbps 4 ช่องเป็นช่องสัญญาณ 8 Mbps 1 ช่อง และขณะที่ความต้องการเพิ่มขึ้น ระดับการมัลติเพล็กซ์ก็ถูกเพิ่มอีกไปที่ 34 Mbps, 140 Mbps และ 565 Mbps โดยการรวมทีละ 4 ช่องสัญญาณตามลำดับชั้น

ส่วนในอเมริกาเหนือ ก็ได้มีการพัฒนาลำดับชั้นการมัลติเพล็กซ์ของตนเองขึ้นมา โดยมีหลักการของการมัลติเพล็กซ์เช่นเดียวกับของทางยุโรป แต่อัตราบิตจะแตกต่างกันคือ ในอเมริกาเหนือ จะใช้อัตราบิต 1.5 Mbps, 6 Mbps และ 45 Mbps ตามลำดับชั้น ดังในรูปที่ 3

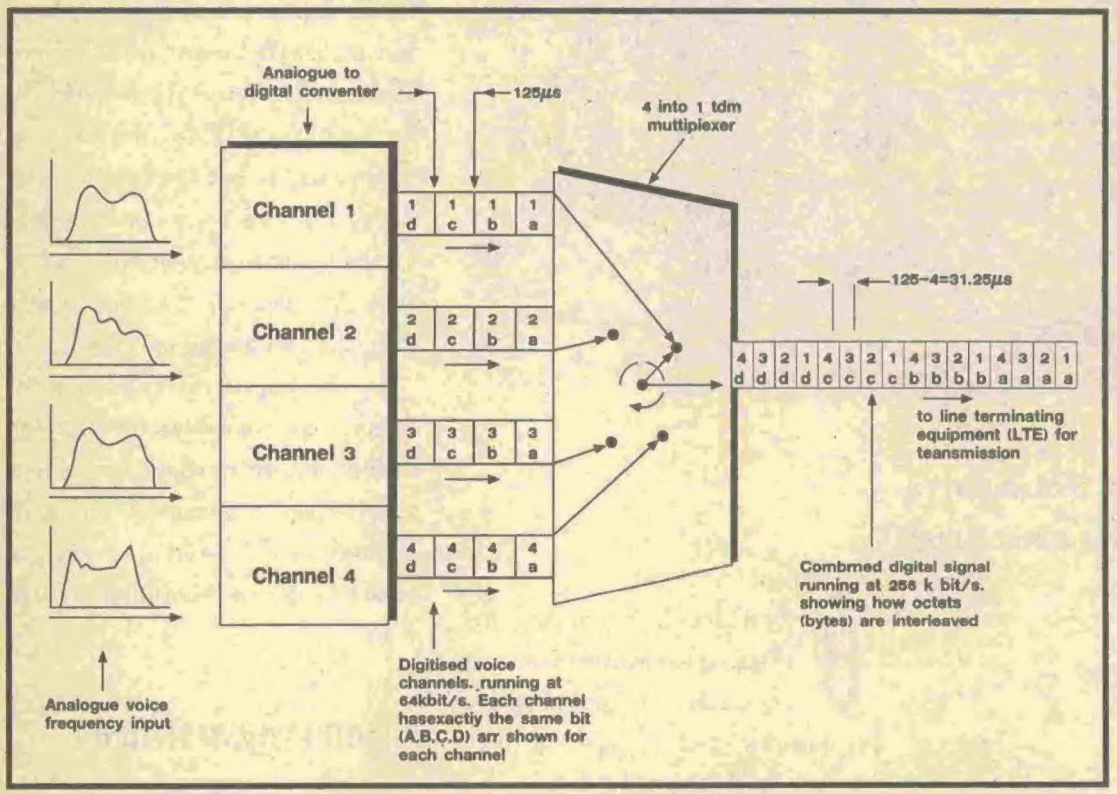
หลักการมัลติเพล็กซ์แบบเพลสซิโอโครนัส

ลำดับชั้นการมัลติเพล็กซ์ดังที่กล่าวมาดูค่อนข้างง่าย แต่ในทางปฏิบัติจะมีปัญหาที่ซับซ้อนมากขึ้นอีก คือ เมื่อทำการมัลติเพล็กซ์ช่องสัญญาณ 2 Mbps จำนวนหลายช่องเข้าด้วยกัน และแต่ละช่องมีอัตราบิตแตกต่างกันเล็กน้อยเพราะมาจากอุปกรณ์ที่ต่างกัน ดังนั้นก่อนที่ช่อง 2 Mbps เหล่านี้จะถูกวางสลับบิต (bit-interleaved) มัลติเพล็กซ์เข้าด้วยกัน จะต้องถูกปรับอัตราบิตให้เท่ากันโดยการเพิ่มบิต dummy หรือ justification bits ดังในรูปที่ 4 ซึ่งบิตเหล่า

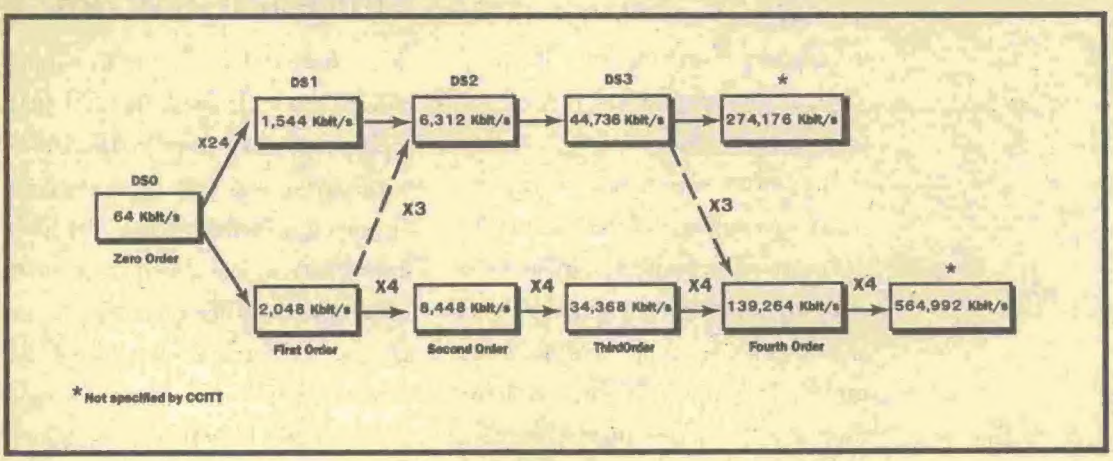
เทคโนโลยีเครือข่ายคอมพิวเตอร์ : PDH กับ SDH



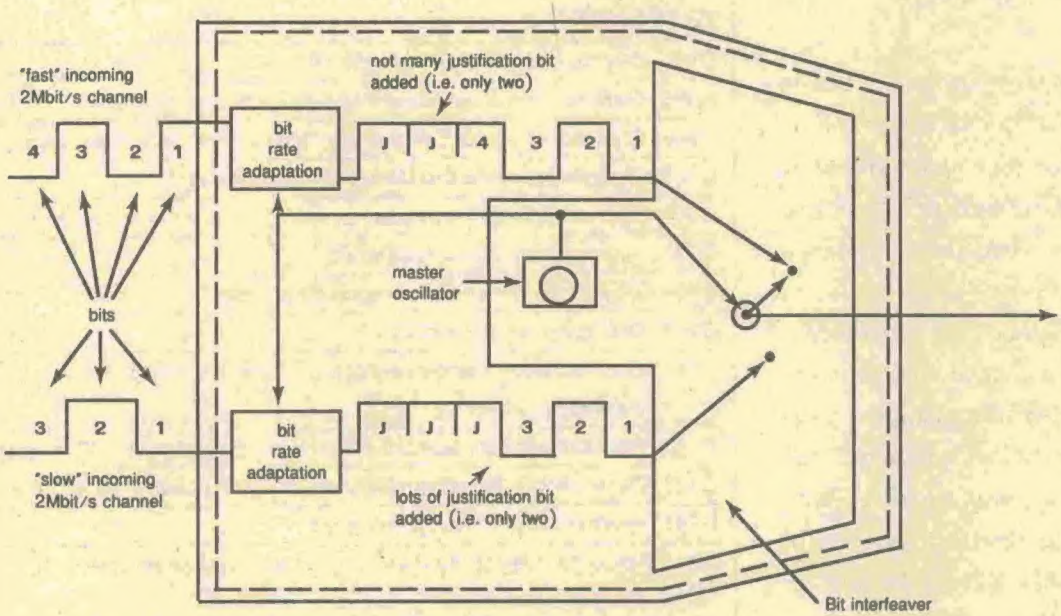
รูปที่ 1 Pulse Code Modulation



รูปที่ 2 Time Division Multiplexing



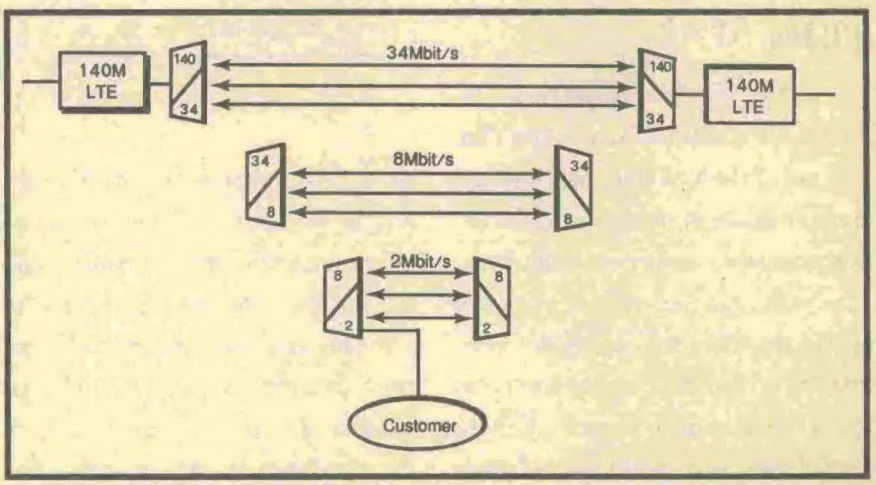
รูปที่ 3 Duropean & North American Transmission Hierarchies



รูปที่ 4 Plesiochronous Multiplexing

นี้จะถูกดึงทิ้งออกไปเมื่อสัญญาณถูกดีมัลติเพล็กซ์ที่ปลายทาง กระบวนการดังที่กล่าวมานี้ถูกเรียกว่า เพลสซิโอโครนัส (plesiochronous) มีความหมายตามภาษากรีกว่า "almost synchronous"

ปัญหาแบบเดียวกันได้เกิดขึ้นที่ทุกระดับชั้นของการมัลติเพล็กซ์ ทำให้ต้องเพิ่ม justification bits ที่ทุกระดับการมัลติเพล็กซ์ การใช้กระบวนการเพลสซิโอโครนัสในทุกระดับชั้น เป็นที่มาของคำว่า PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy)



รูปที่ 5 Plesiochronous Drop & Insert

ข้อจำกัดของ PDH

เนื่องจากความต้องการใช้บริการต่างๆ ที่มีหลากหลายมากขึ้นในปัจจุบัน มีทั้งบริการสื่อสารของเสียง (voice) ข้อมูล (data) และวิดีโอ (video) ทำให้การมัลติเพล็กซ์แบบ PDH แต่เดิมนั้นไม่สามารถตอบสนองความต้องการทางด้านคุณภาพการส่งที่ดีขึ้นได้ การให้ใช้สอยบริการที่มากกว่า และความยืดหยุ่นคล่องตัวในการดึงใช้ช่องสัญญาณ

ปัญหาของการขาดความยืดหยุ่นคล่องตัวในโครงข่าย PDH อาจพิจารณาจากกรณีที่ต้องการดึงช่องสัญญาณ 2 Mbps ออกจากสัญญาณที่มีอัตราบิตสูงกว่า การใช้ justification bits ที่แต่ละระดับใน PDH ทำให้ไม่สามารถบ่งบอกตำแหน่งที่แน่นอนของเฟรมสัญญาณ 2 Mbps ที่อยู่ภายในสัญญาณที่มีอัตราบิตสูงกว่า เช่น 140 Mbps ได้ ดังนั้นเพื่อที่จะดึงสัญญาณ 2 Mbps ออกจากสัญญาณ 140 Mbps จะต้องดีมัลติเพล็กซ์สัญญาณ 140 Mbps ออกเป็น 34 Mbps และ 8 Mbps ตามลำดับก่อน และเมื่อได้สัญญาณ 2 Mbps ตามที่ต้องการแล้ว ช่องสัญญาณที่เหลือจะต้องถูกมัลติเพล็กซ์กลับไปยัง 140 Mbps อีก ดังในรูปที่ 5 ปัญหาในการดึงออกและใส่เข้า (drop and insert) ของช่องสัญญาณดังที่กล่าวมา ทำให้ขาดความคล่อง

ตัวในการเชื่อมต่อใช้งานและก่อให้เกิดการสิ้นเปลืองอุปกรณ์มัลติเพล็กเซอร์จำนวนมากอีกด้วย

ข้อจำกัดอีกอย่างหนึ่งของ PDH คือ ขาดความสามารถในการเฝ้าตรวจสมรรถนะของการส่งข้อมูล เช่น ความผิดพลาดของการส่งข้อมูล รวมทั้งไม่มีฟังก์ชันที่เพียงพอสำหรับการบริหารจัดการโครงข่ายภายในฟอร์แมตของเฟรม PDH

ข้อจำกัดหลัก ๆ 2 ประการดังที่กล่าวมา (คือการไม่สามารถบ่งบอกตำแหน่งช่องสัญญาณที่แน่นอนในสัญญาณที่มีอัตราบิตสูงกว่า และโครงสร้างเฟรมที่ไม่มีฟังก์ชันเพียงพอสำหรับการส่งผ่านข้อมูลการบริหารจัดการโครงข่าย) ยังไม่มีผลสำคัญในโครงข่ายที่ให้บริการโทรศัพท์อย่างเดียวเท่านั้น แต่จะเริ่มปรากฏให้เห็นเมื่อบริการใหม่ ๆ มีอัตราการเติบโตมากขึ้น ดังที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน

ตารางที่ 1 มาตรฐานของ ITU-T ที่เกี่ยวข้องกับ SDH

ITU-T (CCITT)	
G.652	Characteristics of a single-mode optical fibre cable
G.653	Characteristics of a dispersion-shifted single-mode optical fibre cable
G.654	Characteristics of a 1550 nm wavelength loss-minimized single-mode optical fibra cable
G.703	Physical/electrical characteristics of hierarchical digital interfaces
G.704	Synchronous frame structures used at primary and secondary hierarchial levels
G.707	Synchronous digital hierarchy bit rates
G.708	Network node interface for Synchronous Digital Hierarchy
G.709	Synchronous multiplexing structure
G.781	Structure of recommendations on multiplexing equipment for synchronous Digital Hierarchy (SDH)
G.782	Types and general characteristics of Synchronous Digital Hierarchy (SDH) equipment
G.783	Characteristics of Synchronous Digital Hierarchy (SDH) equipment functional blocks
G.784	Synchronous Digital Hierarchy managment
G.823	The control of jitter and wander within digital networks which are based on the 2048 kbit/s hierarchy
G.82j	The control of jitter and wander within digital networks which are based on the Synchronous Digital Hierarchy (SDH)
G.957	Optical interfaces for equipment and systems relating to the Synchronous Digital Hierarchy
G.958	Digital line systems based on the Synchronous Digital Hierarchy for use on optical fibre cables
G.773	Management interface Q3

กำเนิด SDH

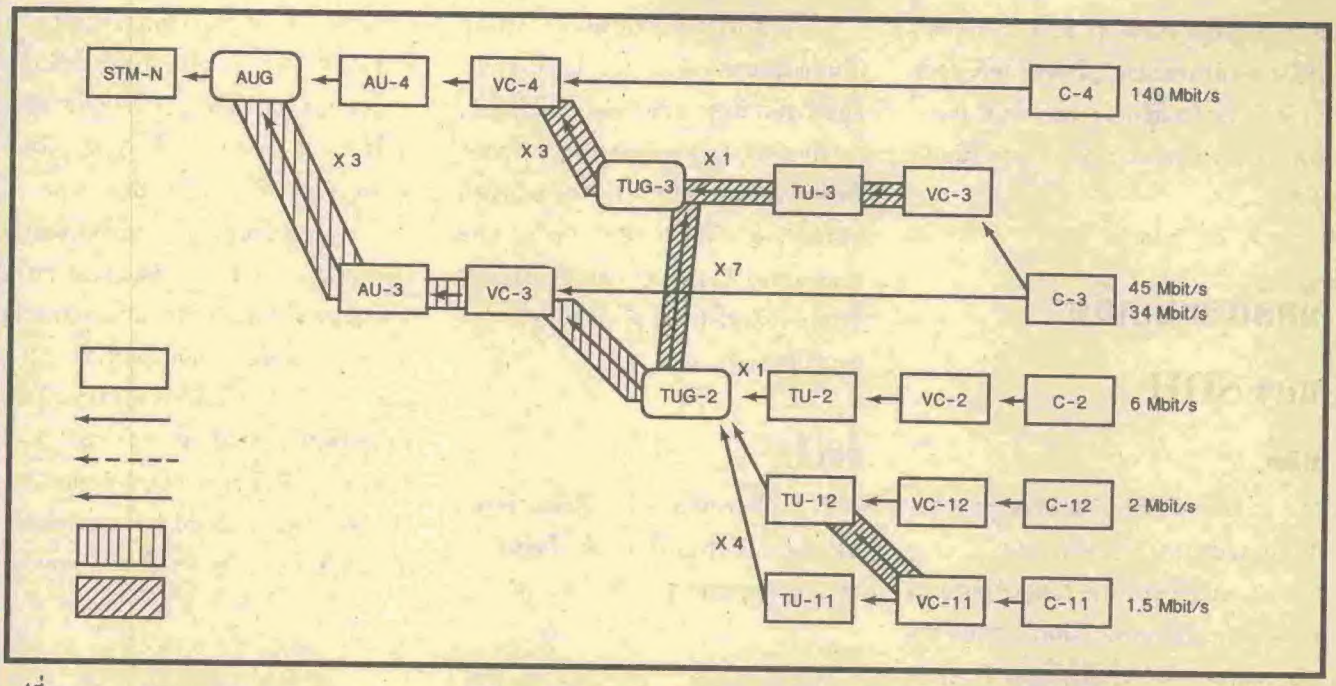
PDH ได้มาถึงจุดที่ไม่ยืดหยุ่นและไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอต่อความต้องการได้อีก การส่งแบบซิงโครนัสจึงได้ถูกพัฒนาเพื่อที่จะขจัดปัญหาที่เกิดกับการส่งแบบเพลสซิโอโครนัส โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การดึงวงจรระดับชั้นล่าง ๆ ออกจากสัญญาณมัลติเพล็กซ์ที่อยู่สูงกว่า PDH จะต้องดีมัลติเพล็กซ์สัญญาณออกทั้งหมดก่อน การส่งแบบซิงโครนัสถูกมองว่าเป็นก้าวถัดไปของการปฏิวัติเปลี่ยนแปลงลำดับชั้นการส่งสัญญาณ ความพยายามในการกำหนดมาตรฐานขึ้นมาใหม่นี้ ได้คำนึงถึงปัญหาและความต้องการต่าง ๆ เช่น ความสามารถของการบริหารจัดการโครงข่ายภายในลำดับชั้นความต้องการที่จะกำหนดอินเทอร์เฟสมาตรฐานระหว่างอุปกรณ์ และการทำงานร่วมกันได้ระหว่างลำดับชั้นการส่งของอเมริกาเหนือและยุโรป

ตารางที่ 1 ได้แสดงถึงมาตรฐานต่าง ๆ ของ ITU-T (CCITT) ที่เกี่ยวข้องกับการส่งสัญญาณของ SDH โดย Rec. G.707, G.708 และ G.709 ครอบคลุมเรื่องของอัตราเร็วการส่งสัญญาณ โครงสร้างเฟรม โครงสร้างการมัลติเพล็กซ์ และการแมพสัญญาณทริบูทารี ส่วน Rec. G.781, G.782 และ G.783 จะเป็นมาตรฐานในส่วนของอุปกรณ์ และ Rec. G.784 นั้นจะเป็นมาตรฐานของการบริหารจัดการโครงข่าย สำหรับ Recommendations อื่น ๆ นั้น จะครอบคลุมส่วนต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น มาตรฐานความต้องการของอินเทอร์เฟสทางแสง และฟังก์ชัน OA&M (Operation, Administration and Maintenance) เป็นต้น ข้อกำหนดมาตรฐานของ ITU-T นี้ได้ตีพิมพ์ไว้ใน CCITT Blue Book (1988) และ Draft Recommendations ที่ออกตามมา นอกจากนี้ ในอเมริกาเหนือทาง ANSI ยังได้ตีพิมพ์มาตรฐาน SONET ของตนเองขึ้น แต่ตอนนี้ถูกมองว่าเป็นส่วนหนึ่งของมาตรฐาน SDH ของ ITU-T ที่ใช้กันทั่วโลก

Rec. ของ ITU-T ได้กำหนดอัตราการส่งระดับเบื้องต้นของ SDH ไว้ที่ 155.52 Mbps ที่เรียกว่า STM-1 (STM ย่อมาจาก Synchronous Transport Module) อัตราการส่งในระดับที่สูงกว่าคือ STM-4, STM-16 และ STM-64 (622.08 Mbps, 2.48 Gbps และ 9.95 Gbps ตามลำดับ) ได้ถูกกำหนดไว้ด้วย ส่วนระดับที่สูงกว่านี้ กำลังพิจารณาศึกษาอยู่ นอกจากนี้ Rec. ยังได้กำหนดโครงสร้างการมัลติเพล็กซ์ที่จะแสดงให้เห็นว่า สัญญาณ STM-1 สามารถบรรจุสัญญาณที่มีอัตราการส่งต่ำกว่า เช่น สัญญาณ PDH เพื่อส่งผ่านเข้าไปในโครงข่ายซิงโครนัสได้อย่างไร

หลักการของ SDH

ถึงแม้ว่า SDH จะมีข้อได้เปรียบเหนือ PDH แต่การเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใดไป

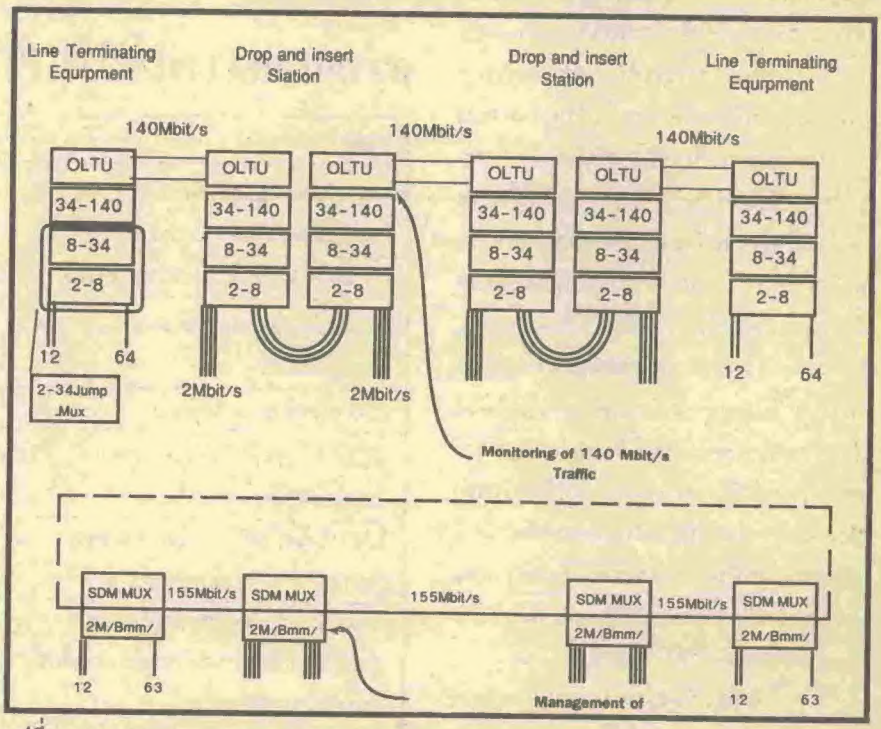


รูปที่ 6 The SDH Multiplexing Hierarchy

ของการควบคุมบางอย่างและการเฝ้าตรวจความผิดพลาดที่เกิดตามเส้นทางของการส่งข้อมูล คอนเทนเนอร์ที่รวมกับพาทโอเวอร์-เฮดนี้จะถูกเรียกว่า เวอร์ชวลคอนเทนเนอร์ (Virtual Container VC)

ในโครงข่ายซิงโครนัส อุปกรณ์ทั้งหมดจะต้องซิงโครไนซ์กับสัญญาณนาฬิกาของโครงข่าย แต่เนื่องจากการประวิงเวลาของสัญญาณในระบบสื่อสัญญาณ อาจมีการเปลี่ยนแปลงบ้างเล็กน้อย ทำให้ตำแหน่งของ VC ภายในเฟรม STM-1 อาจไม่คงที่ตายตัว แต่ปัญหานี้ก็แก้ได้โดยการใช้พอยเตอร์ ซึ่งจะชี้ตำแหน่งเริ่มต้นของ VC ในเฟรม STM-1 โดยการเพิ่มลดค่าพอยเตอร์ให้สอดคล้องกับการขยับของตำแหน่ง VC ก็เท่านั้นเอง

G.709 ได้กำหนดการรวมกันในลักษณะต่าง ๆ ของ VC ที่จะใส่เข้าไว้ในพื้นที่เพย์โหลดของเฟรม STM-1 กระบวนการของการโหลดคอนเทนเนอร์และการเพิ่มโอเวอร์-เฮด จะถูกทำซ้ำที่หลายระดับในลำดับชั้น SDH ก่อให้เกิดการซ้อน VC ที่เล็กกว่าภายใน VC ที่ใหญ่กว่า กระบวนการนี้ถูกซ้ำจนกระทั่งถึงขนาด VC ที่ใหญ่ที่สุด และจากนั้นจะถูก



รูปที่ 7 Simplification of Drop & Insert Using Synchronous

โหลดเข้าไว้ในเพย์โหลดของเฟรม STM-1 ส่วนเพย์โหลดนี้จะถูกเพิ่มส่วนของเซคชั่นโอเวอร์เฮดเข้าไป ทำให้ได้เฟรมสัญญาณ STM-1 ส่วนของเซคชั่นโอเวอร์เฮดนี้ ใช้สำหรับเป็นช่องสื่อสารสำหรับฟังก์ชัน เช่น OA&M, ช่องสัญญาณของผู้ปฏิบัติงาน ประโยชน์ทางด้านการสวิตช์วงจรหรือเส้นทาง เพื่อป้องกันการตัดขาดของวงจร การเฝ้าตรวจความผิดพลาด การปรับตั้งเฟรม และฟังก์ชันอื่น ๆ อีกมากมาย

เมื่อมีความต้องการอัตราการส่งที่สูงกว่า 155.52 Mbps (STM-1) เช่น อัตราบิต

622.08 Mbps (STM-4) หรือ 2.48 Gbps (STM-16) ก็ทำได้โดยการมัลติเพล็กซ์สัญญาณระดับต่ำกว่าด้วยวิธีการวางสลับไบท์ (byte-interleaved) สัญญาณระดับต่ำกว่าเหล่านั้นเข้าด้วยกัน

ข้อดีและข้อเสีย ของ SDH

ข้อดี

- อัตราบิตที่เกิน 140 Mbps ถูกกำหนดให้เป็นมาตรฐานนานาชาติครั้งแรก

- การเข้ารหัสสำหรับการส่งสัญญาณแสงตามสายถูกกำหนดให้เป็นมาตรฐาน ทำให้อุปกรณ์ตามสาย (line equipment) จากผู้ผลิตต่าง ๆ สามารถใช้เข้าด้วยกันได้(compatible)

- มีโครงสร้างที่เป็นโมดูล : อัตราบิตของสัญญาณมัลติเพล็กซ์จะเป็นจำนวนเท่าของอัตราบิตระดับแรก (155.52 Mbps หรือ STM-1) โครงสร้างเฟรมของสัญญาณมัลติเพล็กซ์จะเหมือนกับโครงสร้างเฟรมของสัญญาณระดับแรก(STM-1) ซึ่งหมายความว่าไม่ต้องกำหนดโครงสร้างเฟรมขึ้นมาใหม่อีก

- การเข้าถึงหรือติดต่อช่องสัญญาณหนึ่ง ๆ ในสัญญาณมัลติเพล็กซ์ เป็นไปได้โดยดูจากค่าพอยเตอร์ที่ชี้ตำแหน่งสัญญาณที่ต้องการ และดึงเฉพาะสัญญาณที่ต้องการเท่านั้นออกมา โดยไม่จำเป็นต้องดีมัลติเพล็กซ์สัญญาณออกทั้งหมดก่อน ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในระบบ cross-connect และ branching (add/drop multiplexer) ดังในรูปที่ 7

- มีช่องสัญญาณในส่วนโอเวอร์เฮดหลายช่อง สำหรับใช้ในการดูแล การบริหารจัดการ และการควบคุมโครงข่าย ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญสำหรับโครงข่าย TMN (Telecommunications Management Network)

- สามารถส่งสัญญาณ PDH ทั้งหมดที่กำหนดใน ITU-T G.703 ได้

- การส่งสัญญาณบรอดแบนด์ (broadband)ที่จะมีในอนาคตสามารถทำได้

- สามารถเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าไปเป็นสัญญาณแสงได้โดยตรง โดยไม่จำเป็นต้องเข้ารหัสสัญญาณ (line coding) ที่ซับซ้อน การเฝ้าตรวจความผิดพลาดของบิตจะดำเนินการโดยฟังก์ชันตรวจสอบที่อยู่ในส่วนโอเวอร์เฮดของสัญญาณ ยูนิตของ OLTE(Optical Line Terminating Units) สามารถถูกอินทิเกรทรวมกับมัลติเพล็กเซอร์ได้โดยไม่จำเป็นต้องแยกยูนิตออกมา

ข้อเสีย

- เป็นเทคนิคที่ค่อนข้างซับซ้อนเนื่องจากความจำเป็นในการบันทึกความสัมพันธ์ทางเฟสระหว่างสัญญาณทริบูทารีและโอเวอร์เฮด

- เนื่องจากต้นกำเนิดจากทางอเมริกาของ SDH ทำให้การส่งสัญญาณตามลำดับชั้นของ CEPT น้อยกว่าที่ควรจะเป็น เช่น สามารถส่งได้ 3 x 34 Mbps เท่านั้นใน STM-1 ถึงแม้ความจุรองรับได้ถึง 4 x 34 Mbps ก็ตาม

- การปรับสัญญาณแบบไบต์ต่อไบต์ (byte-by-byte justification)ของ SDH ก่อให้เกิด jitter มากกว่าการปรับแบบบิตต่อบิต (bit-by-bit justification)ของ PDH

- เนื่องจากไม่มีโครงสร้างการมัลติเพล็กซ์ที่สม่ำเสมอสำหรับการส่งสัญญาณ PDH ของลำดับชั้นจากทาง CEPT และ USA ทำให้ต้องมีอุปกรณ์เผื่อเลือกหลายอย่างเพื่อรองรับสัญญาณ PDH ที่มาจากค่ายต่าง ๆ เหล่านี้

ความแตกต่างระหว่าง PDH และ SDH

PDH	SDH
โครงข่ายแบบเพลสซิโอโครนัส (ออสซิเลเตอร์เดินอิสระภายใน)	โครงข่ายแบบซิงโครนัส (ออสซิเลเตอร์ภายในที่ซิงโครไนซ์กับสัญญาณนาฬิกาอ้างอิงภายนอก)
เทคนิคการมัลติเพล็กซ์แบบอะซิงโครนัส	เทคนิคการมัลติเพล็กซ์แบบซิงโครนัส
เฟรมสัญญาณถูกกำหนดเฉพาะในแต่ละระดับการมัลติเพล็กซ์	สัญญาณมัลติเพล็กซ์ทั้งหมดมีโครงสร้างเฟรมเหมือนกัน
การมัลติเพล็กซ์แบบบิตต่อบิต	การมัลติเพล็กซ์แบบไบต์ต่อไบต์
ปรับตั้งทางเวลาด้วยการปรับทางบวกแบบบิตต่อบิต	ปรับตั้งทางเวลาด้วยการปรับทางบวกหรือทางลบแบบไบต์ต่อไบต์
ไม่ต้องซิงโครไนซ์สัญญาณปรับตั้งเฟรม (frame alignment signal (FAS))	ต้องซิงโครไนซ์ frame alignment word
การเข้าถึงหรือติดต่อช่องสัญญาณใด ๆ เป็นไปได้เท่านั้นภายหลังการดีมัลติเพล็กซ์สัญญาณออกทั้งหมดก่อน	การเข้าถึงหรือติดต่อช่องสัญญาณใด ๆ เป็นไปได้ภายหลังการตีความค่าพอยน์เตอร์
อัตราบิตจนถึง 140 Mbps ถูกกำหนดเป็นมาตรฐาน	อัตราบิตตั้งแต่ 155 Mbps ถูกกำหนดเป็นมาตรฐาน